

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

Кременчуцький льотний коледж

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни

Авіаційна географія (Геоінформаційні системи та картографія)
обов'язкових компонент освітньої програми першого рівня вищої освіти

Аеронавігація

за темою № 5 – Карти та картографічні проекції

Харків 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Педагогічною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації
Протокол від 29.06.2023 №14

Розробник:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст 2-й категорії Ємець В.В.

Рецензенти:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор кафедри аеронавігаційних систем навчально-наукового інституту Аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, доцент Шмельова Т.Ф.

План лекції

1. Класифікація проекцій по положенню полюсу, виду меридіанів, і паралелей нормальної сітки
2. Карти в кінцевих проекціях
3. Карти в поліконічній (міжнародній) проекції
4. Карти в азимутальних проекціях
5. Карти в циліндричних проекціях
6. Класифікація авіаційних карт
7. Точність вимірювання на карті
8. Розграфка та номенклатура карт. Збірні таблиці

Рекомендована література:

Основна

1. В.А. Кокорін, О.К. Шейгас, О.М. Шевченко та ін. Основи повітряної навігації. Навч. Посібник, Харків: ХНУПС, 2019 р.
2. Демін В.М. Теорія і практика використання карт в авіації. - М., Машинобудування, 1969
3. Аникін О.М., Малишевський О.В. Авіаційна картографія: навч. посіб. – Л.:ОЛАГА, 1987.

Додаткова

4. Лебедев М.І. Літаководіння. Навч. посібник – Ставрополь, 2003

Інформаційні ресурси в мережі Internet

5. <https://www.google.com.ua>
6. <https://3planeta.com/gps-tools/ru/index.html>

1. Класифікація проєкцій по положенню полюсу, виду меридіанів і паралелей нормальної сітки

Для отримання зображення сферичної поверхні Землі використовується координатна сітка паралелей і меридіанів. Коли вона переноситься на площину, вона утворює так звану **картографічну сітку**.

В залежності від практичних потреб можуть наноситися сітки різних систем координат, кожна з яких має координатні лінії той або іншої складності. Одна з таких сіток називається **нормальною**, під якою розуміють таку картографічну сітку, координатні лінії якої для даної проєкції мають найбільш простий від.

По виду меридіанів і паралелей нормальної сітки картографічні проєкції діляться на такі групи:

1. Конічні проєкції – паралелі зображуються дугами концентричних окружностей, а меридіани – радіусами цих дуг (рис.6.1). Кути між меридіанів пропорційні різницям довгот.

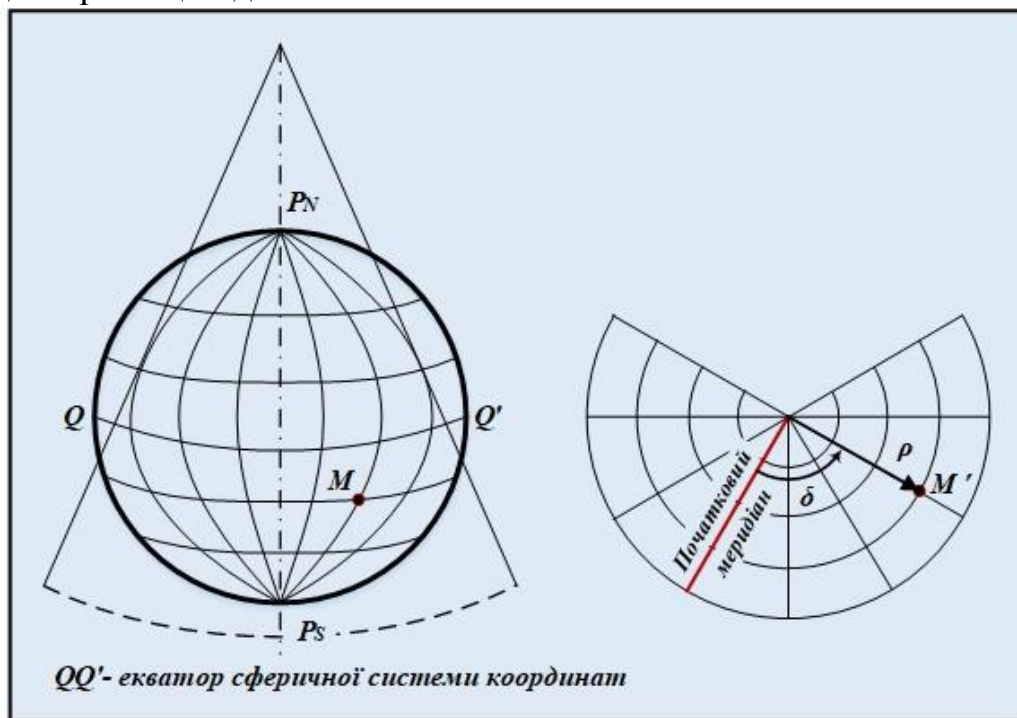


Рисунок 6.1 Проєкція на січний конус

2. Поліконічні проєкції – паралелі нормальних сіток зображуються дугами різноцентренних окружностей, а меридіани – складними кривими, які симетричні відносно середнього прямолінійного меридіана. Центри паралелей розташовуються на продовженні середнього меридіана (рис.6.2,а).

3. Азимутальні проєкції – паралелі зображуються дугами концентричних окружностей, а меридіани – радіусами цих дуг (рис.6.2,б). Кути між меридіанів пропорційні різницям довгот.

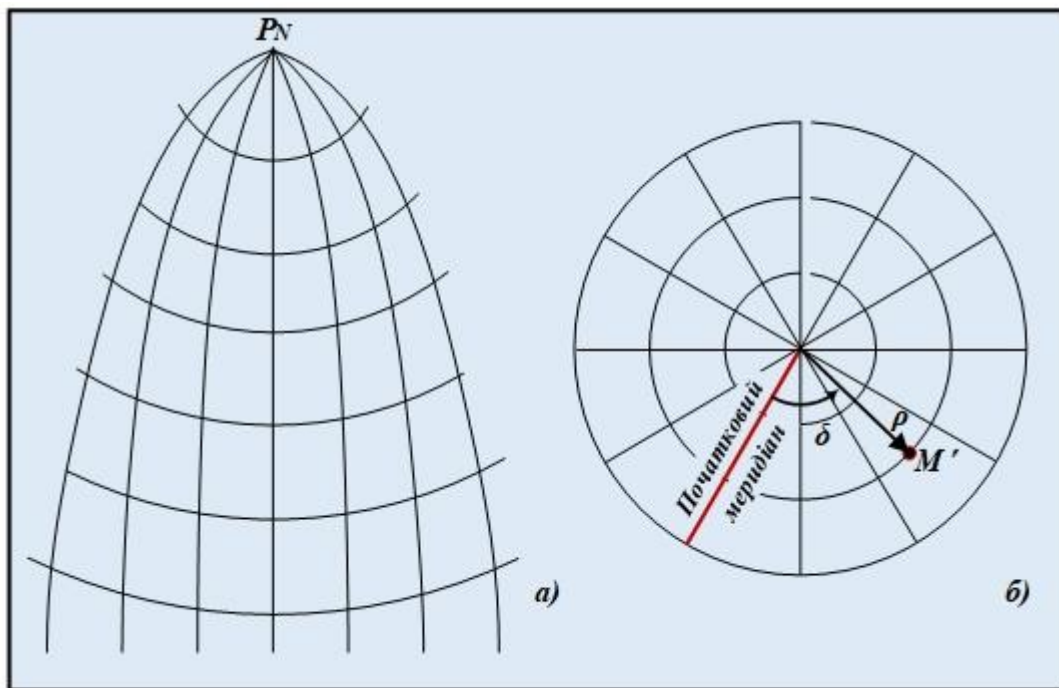


Рисунок 6.2 Вид нормальної поліконічної сітки (а) і нормальної азимутальної сітки (б)

4. Циліндричні проєкції – паралелі нормальної сітки зображуються горизонтальними паралельними прямими, а меридіани – паралельними прямими, перпендикулярними паралелям (рис.6.3).

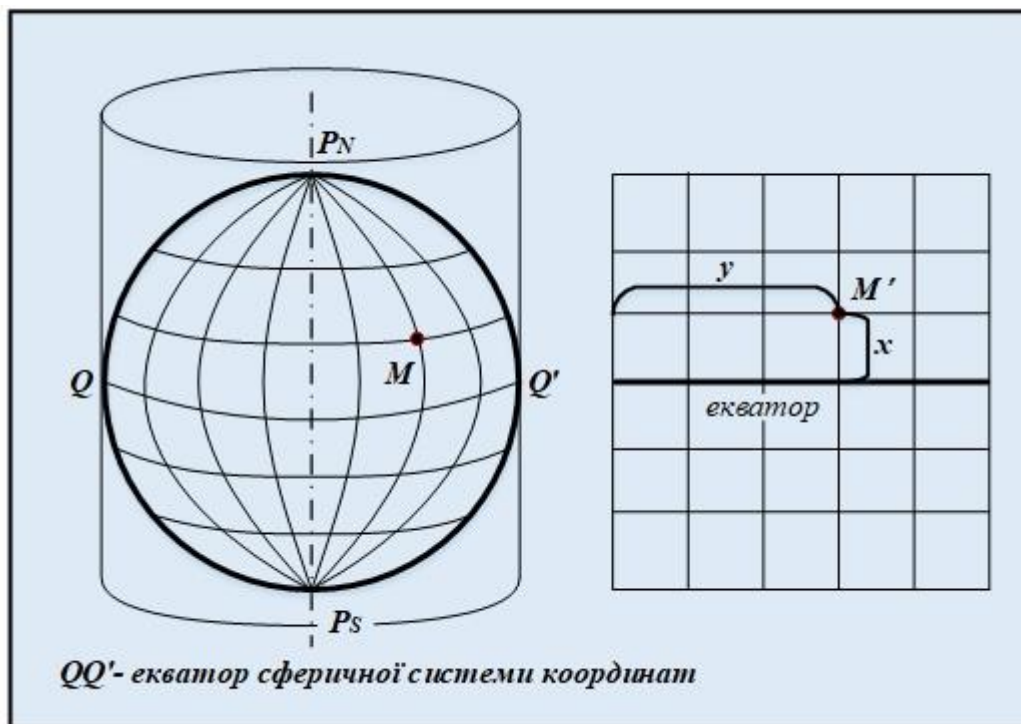


Рисунок 6.3 Проекція на січний циліндр

2. Карти в конічних проекціях

Для рішення навігаційних задач зі усіх конічних проекцій використовуються: нормальна рівнокутна проекція і нормальна рівнопроміжна (так звана проста конічна).

2.1 Нормальна рівнокутна конічна проекція

Нормальною сіткою даної проекції є сітка меридіанів і паралелей нормальної сферичної системи координат. При цьому меридіани зображуються радіальними прямими, що виходять з полюсу P_N під кутом δ , який пропорційний різниці довгот, а паралелі зображуються дугами концентричних окружностей з центром в полюсі. Головні напрями еліпсу спотворення співпадають з напрямками меридіанів і паралелей, оскільки кути між ними на глобусі і на проекції дорівнюють 90° .

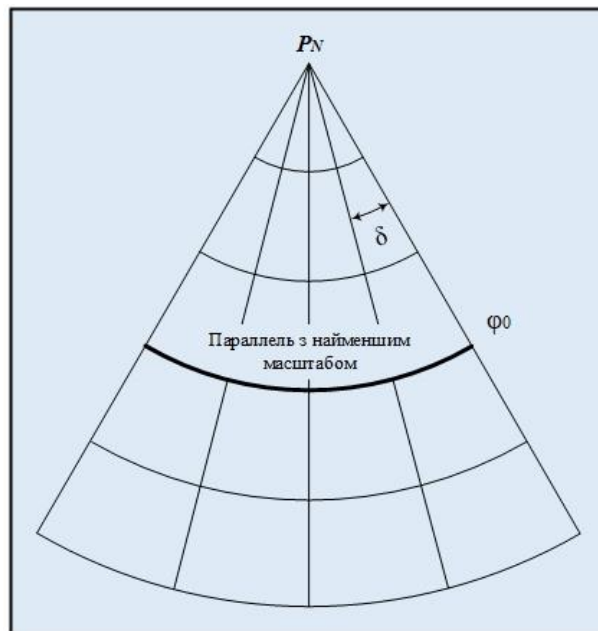


Рисунок 6.4 Нормальна сітка рівнокутної конічної проекції

Рівняння рівнокутних проекцій:

$$\begin{cases} \rho = kU^{-\alpha} \\ \delta = \alpha\lambda \end{cases}, de U = tg\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

k – радіус екватора на проекції;

$\alpha = \sin \varphi_0$ – синус широти паралелі з найменшим масштабом.

Окремі масштаби по меридіану m і по паралелі n визначаються виразом:

$$m = n = \frac{\rho\alpha}{r} = \frac{\rho\alpha}{R \cos \varphi}$$

2.2 Робота з картою в нормальній рівнокутній конічній проекції

Для рішення практичних задач навігації буває необхідно визначити форми лінії шляху і лінії положення на картах.

Ортодромія.

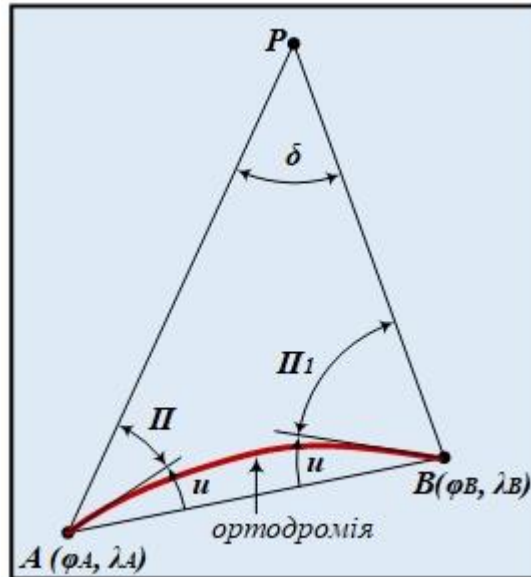


Рисунок 6.5 Кут між ортодромією і прямої на карті

Кут сходження меридіанів на проекції: $\delta = \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_0 = (\lambda_B - \lambda_A) \cdot \sin \varphi_0$, де φ_0 - широта паралелі з найменшим масштабом.

Широта середньої точки ортодромії: $\varphi_{cp} = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$.

Кут u між прямою, що з'єднує точки і ортодромією:
 $u \approx \Delta\lambda \cdot (\sin \varphi_{cp} - \sin \varphi_0)$

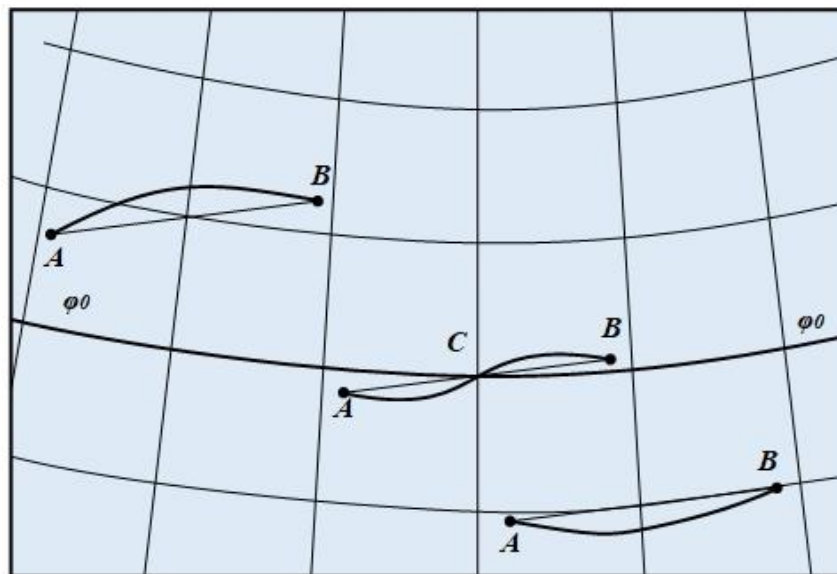


Рисунок 6.6 Зображення ортодромії на карті нормальній рівнокутній конічній проекції

Якщо точки A і B розповсюджені північніше паралелі з найменшим масштабом (в північній півкулі), то ортодромія має опуклість в бік полюсу (рис.6.6), а якщо ці точки розповсюджені південніше цієї паралелі, то ортодромія зігнеться в бік екватору.

Якщо точки A і B розповсюджені по різні боки від паралелі φ_0 , то ортодромія в точці перетину паралелі C , змінює напрям кривини.

При різниці довгот 20° і менше, кут u менше 1° і їм можна нехтувати. При довжині ортодромії більше 1000 км кути u можуть досягати великих значень.

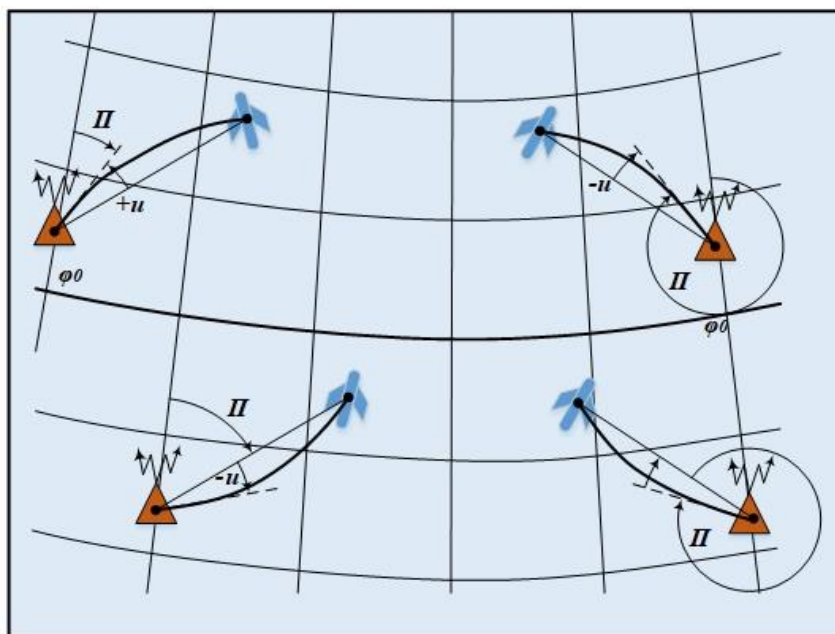


Рисунок 6.7 Лінії ортодромичного радіопеленгу на карті нормальної рівнокутної конічної проекції

У випадку використання для навігації ПС наземних радіопеленгаторів ортодромічні радіопеленги прокладаються у вигляді прямих, но при цьому необхідно використовувати поправку u :

- якщо пеленгатор знаходиться к заходу від ПС і північніше паралелі φ_0 , або пеленгатор знаходиться до сходу від ПС і південніше паралелі φ_0 , то вона додається до пеленгу ($\Pi + u$);
- якщо пеленгатор знаходиться до сходу від ПС і північніше паралелі φ_0 , або пеленгатор знаходиться к заходу від ПС і південніше паралелі φ_0 , то вона відраховується від пеленгу ($\Pi - u$).

При прокладенні маршруту на карті його ортодромічні етапи часто замінюють прямими лініями. У цьому випадку являє собою інтерес визначення величини найбільшого бічного ухилення ортодромії від прямої (рис.6.8).

З рисунка 6.8 величина бічного ухилення дорівнює:

$$l = \frac{S \cdot \Delta\lambda^\circ}{460} (\sin \varphi_{cp} - \sin \varphi_0)$$

Наприклад, для $S = 1335 \text{ км}$, $\Delta\lambda = 20^\circ$, $\varphi_0 = 20^\circ$, $\varphi_{cp} = 52^\circ \rightarrow l = 9 \text{ км}$.

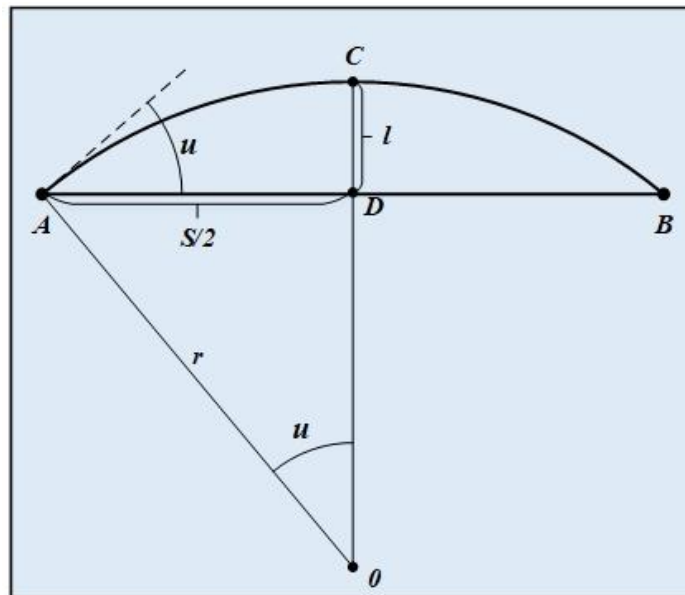


Рисунок 6.8 Ухилення ортодромії від прямої

Локсодромія. В рівнокутній конічній проекції локсодромія зображується дугою логарифмічної спіралі, тому, її прокладка може бути виконана по точкам, або графічним способом (рис.6.9).

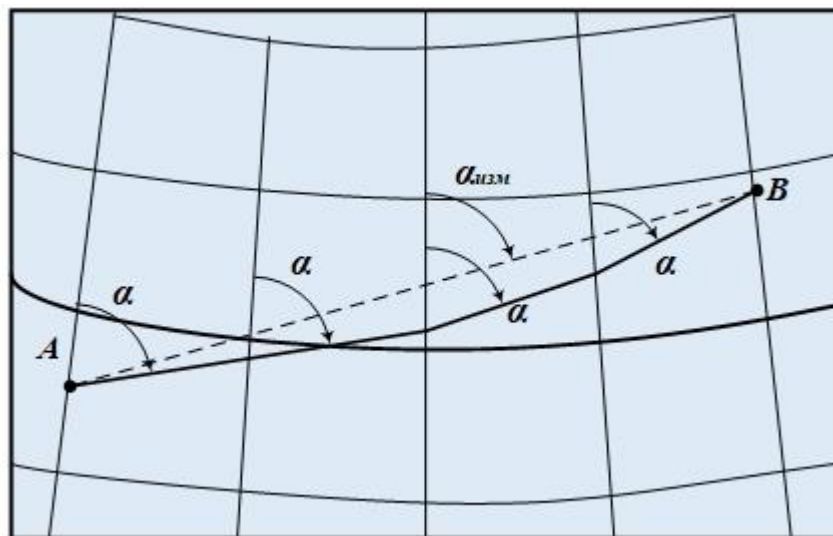


Рисунок 6.9 Прокладення локсодромії по шляховому куту, який виміряний у середнього меридіана.

2.3 Проста конічна проекція

Простою конічною проекцією називають нормальну рівнопроміжну по меридіанам проекцію на дотичний або сікучий конус. Меридіани на проекції зображуються без спотворювання радіальними прямими, які виходять з полюсу, а паралелі – дугами концентричних окружностей з центром в полюсі проекції.

3. Видозмінена поліконічна (міжнародна) проекція

В основу видозміненої поліконічної проекції було покладено просту поліконічну проекцію.

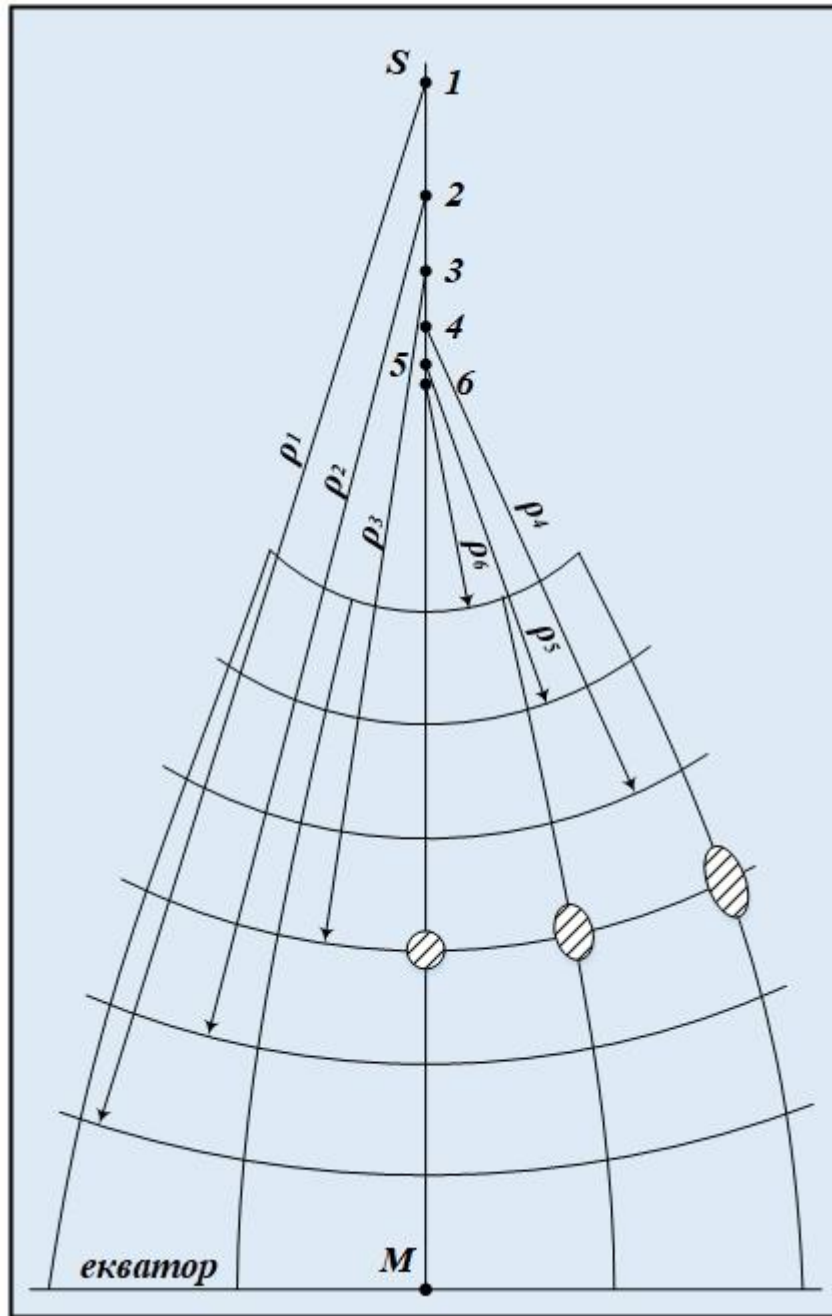


Рисунок 6.10 Проста поліконічна проекція

У відмінності від концентричної проекції, в яких паралелі є дуги концентричних окружностей, в простій поліконічній проекції вони проводяться з різних центрів, які лежать на продовженні середнього меридіана SM. Екватор зображується прямою лінією, так як його радіус дорівнює нескінченності. Меридіани зображуються складними кривими.

У видозміненої поліконічної проекції будуються карти масштабів 1:1000000, 1:2000000 і бортова карта масштабу 1:4000000.

Для отримання мінімальних викривлень на карті кожний її аркуш будується самостійно, для чого уся поверхня Землі приймається за сфероїд (еліпсоїд обертання) і поділяється на окремі ділянки – сфероїдичні трапеції, які займають 4° по широті і по довготі - 6° до паралелі з $\varphi = 60^\circ$ і 12° - в діапазоні широт $\Delta\varphi = 60^\circ \div 76^\circ$ (здвоєні аркуші).

Карта масштабу 1:1000000 в міжнародній проекції використовується в якості основної навігаційної карти для підготовки і виконання польоту.

На аркушах карти масштабу 1:2000000 зображується сфероїдична трапеція, розміри якої - 12° по широті і 18° по довготі, а на аркушах масштабу 1:4000000 - 24° по широті і 36° по довготі.

4. Азимутальні проекції

Карти в азимутальних проекціях використовують при виконанні польотів в високих широтах (Арктика, Антарктика). Таки карти отримують шляхом проекції поверхні глобуса на дотичну або січну площину. На азимутальних проекціях паралелі нормальної сітки зображуються у вигляді концентричних окружностей, радіуси яких залежать від широти, а меридіани – радіальними прямими, що виходять з полюсу. Широке розповсюдження отримали такі види азимутальних проекцій:

- рівнопрямісна;
- полярна стереографічна;
- екваторіальна стереографічна;
- центральна або гномоніческа;
- ортографічна проекція.

Рівнопрямісна азимутальна проекція (рис. 6.11): меридіани нормальної сітки зображується в натуральну величину радіальними прямими, а паралелі – рівновіддаленими концентричними окружностями (якщо вони проведені через однакове число градусів по широті).

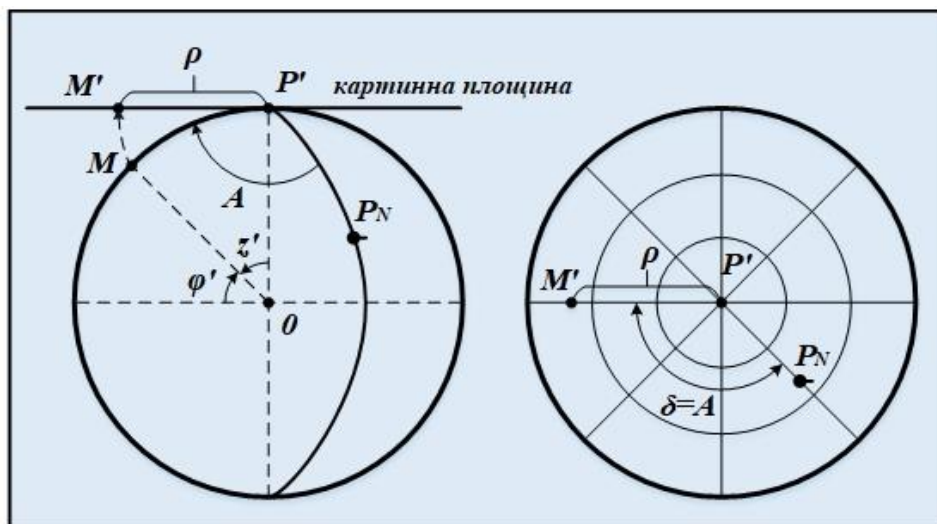


Рисунок 6.11 Рівнопрямісна азимутальна проекція

У випадку рівнопроміжної азимутальної проекції з полюсом в точці P' радіус проекції паралелі з широтою $\varphi' = 90^\circ - z'$ (z' - сферична відстань від точки M до полюса проекції P') дорівнює:

$$\rho = Rz'$$

Кут між меридіанами нормальної сітки дорівнює різниці умовних довгот λ . Замість умовної довготи взятий азимут, який відраховується від меридіану $P'P_N$ нормальних сферичних координат: $\delta = A$.

В авіації знайшли застосування карти північної і південної півкуль з масштабом 1:30 000 000.

Полярна стереографічна проекція (рис.6.12): при побудові проекції точка зору розповсюджена на поверхні глобуса P_S , яка віддалена від картинної площини на відстань d . Меридіани нормальної сітки зображуються радіальними прямими, кут між якими дорівнює різниці довгот ($\delta = \lambda$), а паралелі – концентричними окружностями, радіуси яких:

$$\rho = d \cdot \operatorname{tg} \frac{z}{2}.$$

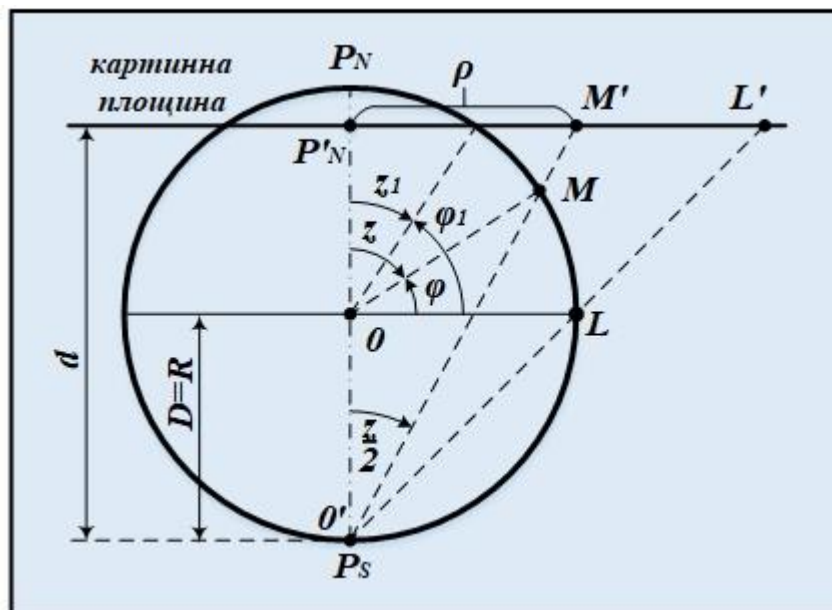


Рисунок 6.12 Стереографічна проекція на січну картинну площину

В сучасний час в цієї проекції використовуються карти полярних районів з масштабами: 1:2 000 000, 1:3 000 000, 1:4 000 000, 1:10 000 000 та інші.

Ортографічна проекція (рис.6.13): ортографічна проекція утворюється при проектуванні поверхні глобуса на картинну площину з точки зору O' , яка винесена в нескінченність ($D = \infty$). Проектуючи промені паралельні осі $O'P'$ і перпендикулярні до картинної площині. Як і на інших азимутальних проекціях, меридіани зображуються радіальними прямими, які виходять з полюса проекції

P' . Кут між ними дорівнює різниці довгот ($\delta = \lambda$), або різниці азимутів. Паралелі зображуються концентричними окружностями з радіусами $\rho = R \sin z$.

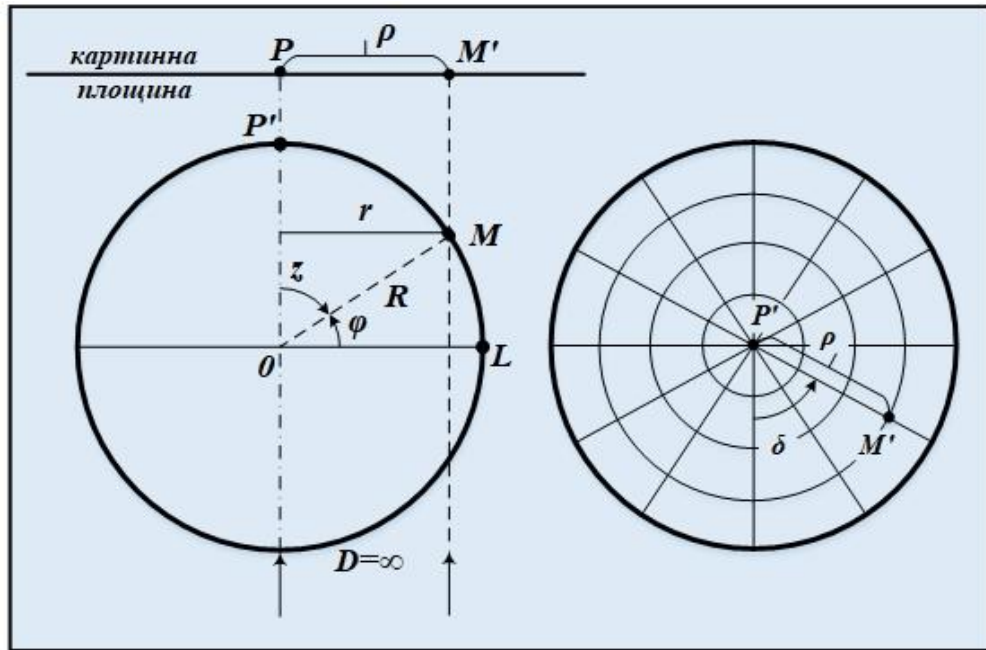


Рисунок 6.13 Ортографічна проекція

5. Циліндричні проекції

Нормальна рівнокутна циліндрична проекція була запропонована фламандським математиком і картографом Меркатором (Кремером). Нормальна сітка циліндричних проекцій відмінна від проекцій, яка були розглянути раніше.

Меридіани зображуються паралельними прямими, які розповсюджені на відстанях, рівних різниці довгот, а паралелі – перпендикулярними меридіанам (рис.6.14).

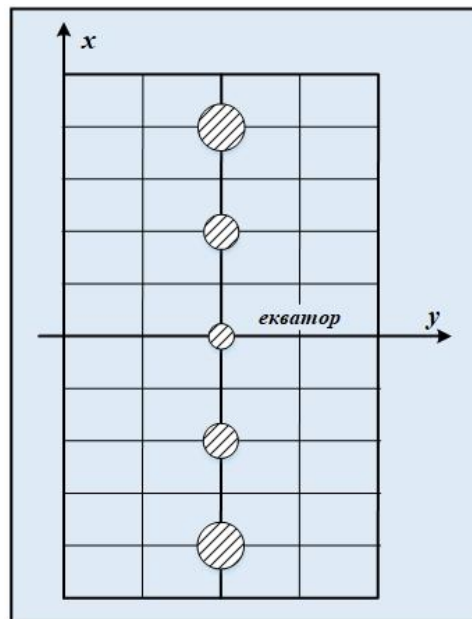


Рисунок 6.14 Циліндрична проекція

Рівняння нормальної рівнокутної циліндричної проекції мають вигляд:

$$\begin{cases} x = R \cdot \ln \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right), \\ y = R \cdot \lambda \end{cases}$$

Де $x = D = R \cdot \ln \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = 7915,705 \cdot \ln \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ - меридіональна частина.

Зображення лінії шляху і лінії положення на картах. (рис.6.15)

Локсодромія – зображується прямою лінією, яка перетинає меридіани під одним і тим же кутом.

Ортодромія – являє собою складну трансцендентну криву лінію, яка описується рівнянням:

$$\frac{e^x - e^{-x}}{2} = \operatorname{ctg} \sigma \cdot \sin(y - y_0)$$

де: σ – напрям ортодромії на екваторі;

y_0 – ордината перетинання ортодромією екватора.

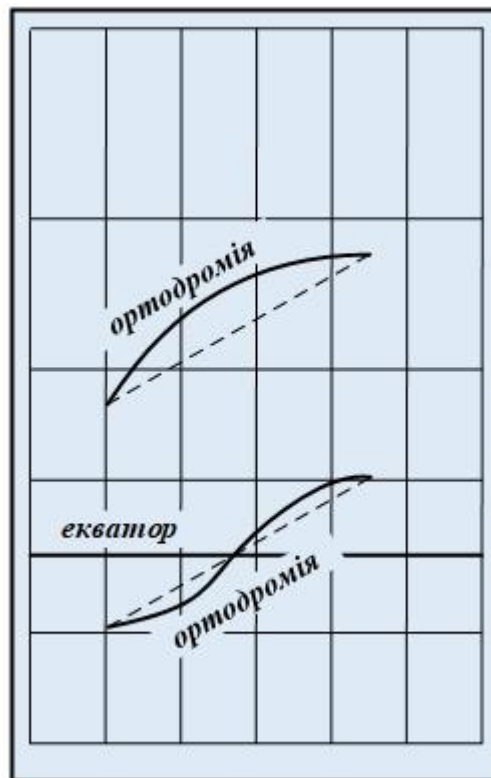


Рисунок 6.15 Ортодромія на карті в нормальної рівнокутної циліндричної проекції

Ортодромічний маршрут будується по точкам. При необхідності використання даних радіопеленгаторів для визначення міста ортодромічний пеленг П (рис.6.16) можливо замінити прямою (локсодромічний пеленг).

Величина поправки u залежить від різниці довгот ПС і радіопеленгатора $\Delta\lambda = (\lambda_c - \lambda_p)$:

$$u = \frac{\Delta\lambda}{2} \sin \frac{\varphi_C + \varphi_P}{2}$$

(φ_C і φ_P - широти ПС і пеленгатора відповідно)

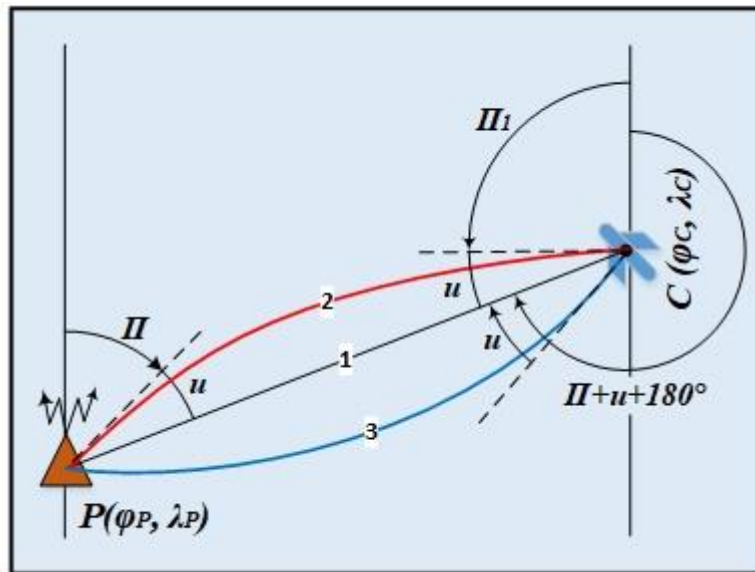


Рисунок 6.16 Кут між ортодромією (2) і локсодромією (1) і заміна ЛРА (3) прямої на карті.

Лінія рівних азимутів – являє собою складну криву, побудова якої можлива тільки по точкам, опуклість якої завжди звернута до екватору.

Для карт в авіації знайшли застосування маршрутне-польотні карти з масштабами 1:1000 000, 1:2000 000 і 1:4000 000.

6. Класифікація авіаційних карт

Карти, що використовуються для підготовки і виконання польотів, поділяються на п'ять груп:

- польотні (маршрутне-польотні);
- бортові;
- карти цілей;
- спеціальні;
- довідкові.

Для виконання задач в різних умовах, використовуються карти наступних масштабів:

Польотні	Бортові	Карти цілей	Спеціальні	Довідкові
1:200 000	1:1000 000	1:50 000	1:2000 000	1:3000 000
1:500 000	1:2000 000	1:100 000	1:3000 000	1:4000 000
1:1000 000	1:3000 000	1:200 000	1:4000 000	1:5000 000
1:2000 000	1:4000 000	1:500 000		1:10 000 000
1:4000 000	1:8000 000			1:40 000 000

Польотні карти – входять в обов'язковий комплект штурманського спорядження пілота і штурмана. На них виконується основний об'єм робіт при підготовки до польоту і безпосередньо в ході польоту.

В залежності від району польоту і масштабу, що потребується, використовуються такі карти:

- в рівнокутні проекції Гаусса (1:200 000, 1:500 000);
- в конічній проекції (1:2 000 000, 1:4000 000);
- в стереографічній проекції (1:2 000 000, 1:3000 000, 1:4000 000);
- в поперечної або косої циліндричної проекції (1:1000 000 – 1:4000 000);
- в поліконічній (міжнародної) проекції (1:1000 000 – 1:4000 000).

Бортові карти – призначені для самольотовождіння у випадках, коли ПС виходить за межі польотної карти. Також вони використовуються навігаційних вимірювань, отриманих за допомогою радіотехнічних засобів навігації (наприклад, прокладення радіопеленгів).

Найбільш розповсюджені бортових карт масштабів:

- 1:2000 000 і 1:4000 000 – у міжнародній поліконічній проекції;
- 1:2000 000 - 1:4000 000 – в стереографічній проекції;
- 1:4000 000 – в рівнокутній конічній проекції.

Карти цілій – великомасштабні карти в проекції Гаусса або рівнокутній циліндричній проекції.

Спеціальні карти – призначені для рішення навігаційних задач по даним вимірювань, отриманих за допомогою радіотехнічних засобів.

Довідкові карти – призначені для довідок, які необхідні при плануванні і підготовки польотів, в тому числі:

- карти великих аеродромних вузлів;
- оглядові навігаційні карти;
- карти магнітних відмінювань;
- карти часових поясів;
- кліматичні і метеорологічні карти;
- карти зіркового неба;
- деякі інші.

7. Точність вимірювання на карті

При вирішенні навігаційних задач на картах необхідно:

- визначати географічні координати точок;
- вимірювати напрями і кути;
- вимірювати відстані між двома точками.

Точність рішення цих задач залежить від:

- геометричної точності карти, тобто точності взаємного розташування точок на ній;
- помилками, які обумовлені методикою вимірювань і визначень.

За статистикою середня квадратична похибка нанесення точки на карту в польоті складає 0,5 мм.

Похибка зняття координат в межах одного листа карти складає 0,8 мм.

На точність вимірювання відстань на карті впливають геометрична точність карти, помилка графічної роботи і помилка округлення. Середня квадратична помилка вимірювання відстані складає $1.1 \div 1,2$ мм.

Помилка вимірювання напряму визначається:

- геометричною точністю карти;
- помилкою нанесення точки на карту;
- помилку округлення;
- помилку визначення положення меридіану в точки вимірювання напряму.

Сумарна помилка за рахунок двох перших складових – 0,8 мм, помилка вимірювання кута транспортиром і помилка визначення положення меридіану $\sim 0,6^\circ$.

Фактичні помилки можуть бути більше вказаних.

8. Розграфка та номенклатура карт. Збірні таблиці

Розграфкою називається ділення єдиної карти на окремі листи.

Номенклатурою карт називається система позначення листів.

В теперішній час використовуються дві розграфки карт – міжнародна і довільна.

В міжнародній системі розграфки листів ведеться по меридіанів і паралелям, а в основу її покладений лист в масштабі 1:1000 000.

Номенклатура складається з літерного позначення поясу, який займає 4° по широті і порядкового номера колонки, який займає 6° по довготі. Рахунок колонок ведеться від меридіану 180° на схід.

Кarti проекції Гаусса є частинами карти 1:1000 000 міжнародної проекції. Кожний лист поділяється на 4 листа масштабу 1:500 000, 36 листів 1:200 000 і 144 листа 1:100 000.

Кожний лист масштабу 1:100 000 поділяється на 4 листа 1:50 000, а останній – на 4 листа 1:25 000.

Розграфка і номенклатура карт масштабів 1:2000 000 і 1:4000 000 в зміненої поліконічної проекції зроблена по такому же принципу.

